

No titl available.

Patent Number: DE19752208
Publication date: 1999-06-02
Inventor(s): FREY WILHELM DR (DE); HEYERS KLAUS DR (DE)
Applicant(s):: BOŠCH' GMBH ROBERT (DE)
Requested Patent: DE19752208
Application Number: DE19971052208 19971125
Priority Number(s): DE19971052208 19971125
IPC Classification: G01F1/692 ; H01L49/00 ; G01J5/20 ; G01K7/02
EC Classification: G01K7/02M
Equivalents: EP0961921 (WO9927325), A3, WO9927325

Abstract

The invention relates to a method for producing a membrane sensor, especially a thermal membrane sensor, over a silicon substrate (1). A thin layer (4) comprised of silicon carbide or silicon nitride is deposited over an area (2) made of porous silicon which is configured in the surface of the substrate (1). Openings (5, 7) are then formed in said silicon carbide or silicon nitride layer (4), said layer extending to the porous silicon layer (2), by means of a dry etching method. Afterwards, semiconductor and circuit-board structures (6) are implanted in the upper surface of the membrane layer (4) by means of lithographic steps and the sacrificial layer (2) comprised of porous silicon is then removed by a suitable solvent, for example ammoniac. As a result, a cavity (8) is produced underneath the membrane layer (4) which thermally decouples the sensor membrane from the substrate (1).

Data supplied from the esp@cenet database - I2

09/886522
06/21/01



19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

12 Off nl ungungsschrift
10 DE 197 52 208 A 1

51 Int. Cl.⁶:
G 01 F 1/692
H 01 L 49/00
// G 01 J 5/20, G 01 K
7/02

41 Aktenzeichen: 197 52 208.4
22 Anmeldetag: 25. 11. 97
43 Offenlegungstag: 2. 6. 99

DE 197 52 208 A 1

71 Anmelder:
Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE
74 Vertreter:
Motsch und Kollegen, 80538 München

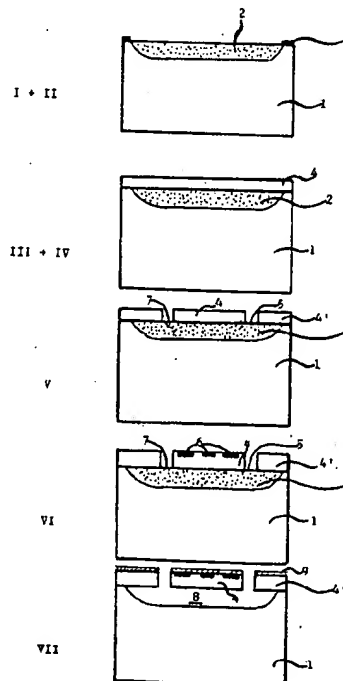
72 Erfinder:
Heyers, Klaus, Dr., 72766 Reutlingen, DE; Frey,
Wilhelm, Dr., 70178 Stuttgart, DE
56 Entgegenhaltungen:
DE-OS 22 02 585
EP 03 30 105 A2
STEINER, P. et al.: Mikrostrukturierung mit
porösem Silizium, in: Sensoren-Technologie und
Anwendung, ITG-Fachbericht 126, vde-Verlag,
Berlin, Offenbach 1994, S. 285-290;

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 Thermischer Membransensor und Verfahren zu seiner Herstellung

57 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines Membransensors über einem Siliziumsubstrat (1), insbesondere eines thermischen Membransensors. Eine dünne Schicht (4) aus Siliziumcarbid oder Siliziumnitrid wird über einem in der Oberfläche des Substrats (1) ausgebildeten Bereich (2) aus porösem Silizium abgeschieden und anschließend durch ein Trockenätzverfahren Öffnungen (5, 7) in dieser Siliziumcarbid- oder Siliziumnitridschicht (4) gebildet, die bis zur porösen Siliziumschicht (2) reichen. Anschließend werden durch lithographische Schritte Halbleiter- und Leiterbahnstrukturen (6) in die obere Oberfläche der Membranschicht (4) implantiert und dann die Opferschicht (2) aus porösem Silizium mit einem geeigneten Lösungsmittel, wie z. B. Ammoniak, entfernt. Dadurch entsteht unterhalb der Membranschicht (4) ein Hohlraum (8), der die Sensormembran vom Substrat (1) thermisch entkoppelt (Fig. 1A-1E).



DE 197 52 208 A 1

Hintergrund der Erfindung

Die Erfindung befaßt sich mit einem Verfahren zur Herstellung eines thermischen Membransensors über einem Siliziumsubstrat nach dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1 und mit nach diesem Verfahren hergestellten Membransensoren. Ein solches Verfahren und solche Membransensoren sind aus "TTG-Fachbericht 126: Sensoren-Technologie und Anwendung", S. 285-289 bekannt.

Allgemeiner Stand der Technik

Über einem Siliziumsubstrat abgeschiedene dünne Schichten, insbesondere Siliziumschichten, unter denen sich ein Abstand haltender freier Raum befindet und die somit als Membran fungieren, werden in der Technik für verschiedene Zwecke verwendet. Ein Einsatzgebiet solcher Membranbauteile besteht bei Sensoren und hier insbesondere bei thermischen Membransensoren, mit denen physikalische Größen, z. B. ein Massenfluß, durch Erfassung einer Temperaturänderung in der dünnen Membranschicht erfassbar sind.

Wichtig ist bei solchen thermischen Sensoren, daß die dünne Membranschicht möglichst gut thermisch vom Substrat entkoppelt ist. In konventionellen Technologien zur Herstellung von Flußsensoren oder Strahlungsdetektoren wird dazu beispielsweise als Sensorträger eine dünne Membran durch anisotropes Rückseitenätzen eines Siliziumwafers erzeugt. Zur Maskierung wird eine doppelseitige Lithographie eingesetzt, was nur durch einen erhöhten apparativen Aufwand möglich ist. Außerdem bilden die tiefen Ätzgruben durch den ganzen Wafer eine mechanische Schwachstelle, die bei einer späteren Weiterverarbeitung desselben zu großer Vorsicht zwingt, um die Waferplatte nicht zu zerbrechen. Da die Ätzstoppebenen schräg im Kristall verlaufen, ist die Öffnung auf der Rückseite größer als auf der Vorderseite. Dadurch erhöht sich die notwendige Waferfläche pro Sensor beträchtlich. Zusätzlich kann die Verwendung komplizierter Schichtpakete aus Metall und Isolatoren auf der Silizium-Membran große Probleme hinsichtlich einer Drift der Schichten und der Langzeitstabilität, z. B. durch Ablösung der Schichten voneinander, hervorrufen.

Der oben erwähnte ITG-Fachbericht 126 vermeidet diese Probleme durch die Anwendung der Technologie des porösen Siliziums. Im einzelnen weist dieses Verfahren folgende Schritte auf:

- I Ausbildung einer einen Bereich auf dem Siliziumsubstrat, in dem die Membran gebildet werden soll, freilassenden Ätzmaske auf einer Hauptfläche des Substrats;
- II elektrochemisches Ätzen des freiliegenden Substratbereichs bis in eine bestimmte Tiefe unter Bildung von porösem Silizium innerhalb des freiliegenden Bereichs;
- III Entfernen der Maske;
- IV Abscheiden einer dünnen Membranschicht aus Siliziumcarbid oder -nitrid;
- V Öffnen vorbestimmter Bereiche in der Membranschicht aus Siliziumcarbid oder -nitrid von ihrer oberen Oberfläche her;
- VI Selektive Ausbildung von Schaltungsstrukturen auf der oberen Oberfläche der Membranschicht, und
- VII Entfernen der porösen Siliziumschicht (2) unter der Membranschicht durch Opferschichtätzung.

Allerdings sind die Schaltungsstrukturen bei dem bekannten thermischen Membransensor durch Sputtern von Metalatomen auf der oberen Oberfläche der Membran abgeschieden worden und dadurch empfindlich gegen äußere mechanische und chemische Einflüsse.

Angesichts des oben Gesagten ist es Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren zur Herstellung eines thermischen Membransensors mit Hilfe der Technologie des porösen Siliziums und einen mit diesem Verfahren hergestellten thermischen Membransensor für die Erfassung von Massenflüssen so zu ermöglichen, daß sich die Schaltungsstruktur des thermischen Membransensors mit Oberflächen-Mikromechanikprozessen so herstellen läßt, daß dessen aktive Fläche einen großen Substratabstand hat und die Schaltungselemente gegen äußere mechanische und chemische Beeinflussung weitgehend geschützt sind.

Die obige Aufgabe wird erfindungsgemäß durch die in den beiliegenden Patentansprüchen enthaltenen Merkmale gelöst.

Insbesondere ist ein solches Verfahren dadurch gekennzeichnet, daß in Schritt VI die Schaltungsstrukturen in die obere Oberfläche der Membranschicht implantiert werden.

Somit wird mit Hilfe der Technologie des porösen Siliziums die Möglichkeit geboten, kostengünstig und schnell eine Siliziumcarbid- oder Siliziumnitrid-Membran über dem Siliziumsubstrat zu erzeugen und anschließend erfindungsgemäß durch maskierte Dotierung einen thermoresistiven oder thermoelektrischen Sensor so herzustellen, daß dessen Schaltungsstrukturen weitgehend gegen äußere mechanische und chemische Einflüsse geschützt sind.

Jedoch ist der erfindungsgemäße Prozeß nicht nur zur Herstellung eines thermischen Membransensors geeignet, sondern für jede Art von dünne, über einem Siliziumsubstrat freiliegende Membranen verwendende Elemente, z. B. auch für die Herstellung von Aktoren, die eine durch Druck oder Unterdruck ausgelenkte Membran enthalten. Die mit dem Verfahren erreichbare Membrandicke liegt in einem Bereich von einigen 10 bis einige 100 nm.

Bevorzugt wird die poröse Siliziumschicht im Siliziumsubstrat durch einen elektrochemischen Anodisierungsprozeß in Flußsäureelektrolyt gebildet. Die darüber abgeschiedene Schicht aus Siliziumcarbid oder Siliziumnitrid wird bevorzugt durch einen Niedertemperatur-LPCVD- oder PECVD-Prozeß gebildet. Alternativ kann solch eine dünne Schicht auch durch einen reaktiven Sputter-Prozeß abgeschieden werden. Hier ist hervorzuheben, daß eine Siliziumcarbidschicht hinsichtlich ihrer größeren mechanischen und chemischen Festigkeit bzw. Widerstandsfähigkeit zu bevorzugen ist. Bei der anschließenden lithographischen Strukturierung werden die Öffnungen in der Siliziumcarbid- oder -nitridschicht bevorzugt durch einen Trockenätzprozeß, z. B. in einem Plasmaätzgerät gebildet. Durch einen weiteren Lithographieschritt werden nun die gewünschten Leiterbahnen für die thermoresistiven Elemente (Heizer und Sensor) definiert und in wenigstens einem Implantationsschritt erzeugt. Die Leiterbahnen werden beispielsweise aus Aluminium gebildet.

Auf diese Weise läßt sich ohne störanfällige Zwischenschicht die thermoresistive Einheit direkt in der oberen Oberfläche der Membran mit Hilfe einer Oberflächen-Mikromechanik derart ausbilden, daß der thermische Sensor CMOS-kompatibel und gegen äußere chemische und mechanische Einflüsse unempfindlich ist.

Alternativ zu einem thermischen Membransensor, bei dem das Meßsignal durch thermoresistive Meßelemente erzeugt wird, kann mit dem erfindungsgemäßen Verfahren auch ein thermischer Membransensor hergestellt werden, der den thermoelektrischen Effekt ausnutzt, indem eine Thermosäule aus zwei verschiedenen Stoffen mit großem Seebeck-Effekt, wie z. B. Antimon/Wismuth oder Silizium/Aluminium, in die obere Oberfläche der Membran implan-

tiert wird. Dabei wird nach einer weiteren Lithographie eine zusätzliche Implantation durchgeführt.

Zum zusätzlichen Schutz vor Verschmutzungen, die eine Funktionsbeeinträchtigung des Sensors hervorrufen können, kann eine dünne ganzflächige Schutzschicht aus Siliziumcarbid oder Siliziumnitrid aufgebracht werden.

Ferner kann das erfindungsgemäße Herstellungsverfahren auch zur Herstellung eines als Strahlungssensor (Bolometer) eingesetzten thermischen Membransensors verwendet werden. Hierzu wird eine zusätzliche Absorberschicht aufgebracht, die beispielsweise aus schwarzem Gold oder schwarzem Silizium besteht. Schwarzes Gold zeigt eine breitbandige starke Absorption von ca. 98% und wird durch thermisches Verdampfen von Gold in einer Niederdruck-Stickstoffatmosphäre erzeugt. Schwarzes Silizium wird nach der Deposition beispielsweise in einem Plasmaätzter durch geeignete Prozeßführung erzeugt.

Schließlich wird das poröse Silizium, das bislang als Stützmaterial und Unterlage für die dünne Membranschicht gedient hat, in einem geeigneten Lösungsmittel, wie z. B. Ammoniak entfernt. Dadurch wird die Sensormembran freigelegt und ist damit vom Substrat thermisch entkoppelt. Hier ist anzumerken, daß poröses Silizium eine im Vergleich zum Edukt extrem vergrößerte Oberfläche besitzt. Das Verhältnis der Oberfläche von nanoporösem Silizium zur Oberfläche von Bulk-Silizium beträgt etwa 10^6 .

Das oben geschilderte erfindungsgemäße Verfahren macht es erstmals möglich, einen thermischen Sensor in Oberflächen-Mikromechanik CMOS-kompatibel herzustellen, dessen aktive Fläche aufgrund der verwendeten Technologie des porösen Siliziums einen sehr großen Substratabstand und somit eine weitgehende thermische Entkopplung vom Substrat besitzt. Das Trägermaterial der Membran, insbesondere Siliziumcarbid, ist chemisch und mechanisch sehr widerstandsfähig.

Durch die besonders einfache Prozeßschrittfolge und den im Vergleich zu herkömmlichen Strukturierungsschritten (z. B. mit KOH) geringen Waferflächenverbrauch kann die Herstellung eines thermischen Membransensors sehr kostengünstig ausgeführt werden. Sämtliche Prozeßschritte sind in der Halbleiterfertigung verfügbar.

Eine bevorzugte Ausführungsform der Prozeßschritte der erfindungsgemäßen Herstellungsverfahren wird nachstehend anhand der beiliegenden Zeichnung näher beschrieben.

Die Zeichnungsfiguren 1A-1E zeigen einzelne Prozeßschritte eines bevorzugten Ausführungsbeispiels in Form eines schematischen Querschnitts durch einen Waferbereich, in dem ein thermischer Membransensor gebildet wird.

Fig. 1A zeigt Prozeßschritte I und II, durch die zunächst auf einer oberen Oberfläche eines entsprechend vorbereiteten Substratblocks 1 eine Ätzmaske 3 in Form eines Photolacks aufgebracht wird, der dann in einem Bereich, in dem eine Membran gebildet werden soll, belichtet und anschließend entfernt wird (Schritt I). Dann wird durch elektrochemische Anodisierung in einem Flußsäure-Elektrolyten das maskierte Substrat 1 bis in eine definierte Tiefe lokal porös geätzt, wodurch eine Schicht 2 aus porösem Silizium gebildet wird (Schritt II).

Fig. 1B zeigt, daß über der Schicht 2 aus porösem Silizium nach Entfernen der Maske 3 eine dünne Membranschicht 4 aus Siliziumcarbid oder -nitrid insbesondere bevorzugt aus Siliziumcarbid entweder durch einen Niederdruck-LPCVD-Prozeß oder einen Niederdruck-PECVD-Prozeß oder durch reaktives Sputtern abgeschieden wird (Schritte III und IV).

Anschließend wird, wie Fig. 1C zeigt, die obere Oberfläche der dünnen Membranschicht 4 lithographisch strukturiert

und die Membranschicht 4 durch ein Trockenätzverfahren, z. B. in einem Plasmaätzter, geöffnet, wodurch Öffnungen 5, 7 entstehen, die durch die Membranschicht 4 bis zur porösen Siliziumschicht 2 reichen (Schritt V). Selbstverständlich steht die Membran, der in Fig. 1C zu erkennende mittlere Bereich der Schicht 4, durch Brücken mit dem peripheren Bereich 4' der Membranschicht in Verbindung.

Gemäß Fig. 1D werden nun durch einen weiteren Lithographieschritt die gewünschten Halbleiter- und Leiterstrukturen bzw. Bahnen für die thermoresistiven Elemente, insbesondere Heizer und Sensor definiert, und in einem Implantationsschritt in die obere Oberfläche der Membranschicht 4 implantiert (Schritt IV). Zur Implantation von Leiterbahnen eignet sich besonders Aluminium. Selbstverständlich lassen sich auch thermoresistive Elemente in Form einer Thermosäule durch Implantation zweier verschiedener Stoffe mit großem Seebeck-Effekt in der oberen Oberfläche der Membran 4 bilden. Solche Stoffe sind z. B. Antimon/Wismuth und Silizium/Aluminium. Dabei wird nach einem weiteren Lithographieschritt eine zusätzliche Implantation durchgeführt.

Anschließend kann, wenn dies erforderlich ist, zum Schutz vor Verschmutzungen, die eine Funktionsbeeinträchtigung des Sensors hervorrufen können, eine zusätzliche dünne ganzflächige Schutzschicht 9 aus Siliziumcarbid oder Siliziumnitrid aufgebracht werden.

Wenn der thermische Membransensor als Strahlungsmesser (Bolometer) verwendet wird, wird eine zusätzliche (in der Figur nicht gezeigte) Absorberschicht, z. B. aus schwarzem Gold, aufgebracht. Anschließend wird gemäß Fig. 1F durch einen abschließenden Prozeßschritt VII die Opferschicht 2 aus porösem Silizium mit Hilfe eines geeigneten Lösungsmittels, wie z. B. Ammoniak, entfernt. Dadurch wird die Sensormembran 4 freigelegt, und durch den darunter entstandenen Hohlraum ist die thermische Entkopplung der Membran und der thermoresistiven Elemente 6 von dem Substrat 1 erreicht.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung einer dünnen freiliegenden Membran über einem Siliziumsubstrat (1) insbesondere für einen thermischen Membransensor mit folgenden Schritten:

I Ausbildung einer einen Bereich auf dem Siliziumsubstrat (1), in dem die Membran gebildet werden soll, freilassenden Ätzmaske auf einer Hauptfläche des Substrats;

II elektrochemisches Ätzen des freiliegenden Substratbereichs bis in eine bestimmte Tiefe unter Bildung von porösem Silizium (2) innerhalb des freiliegenden Bereichs;

III Entfernen der Maske;

IV Abscheiden einer dünnen Membranschicht (4) aus Siliziumcarbid oder -nitrid;

V Öffnen vorbestimmter Bereiche (5, 7) in der Membranschicht (4) aus Siliziumcarbid oder -nitrid von ihrer oberen Oberfläche her;

VI Selektive Ausbildung von Schaltungsstrukturen (6) auf der oberen Oberfläche der Membranschicht (4), und

VII Entfernen der porösen Siliziumschicht (2) unter der Membranschicht (4) durch Opferschichtätzung, **dadurch gekennzeichnet**, daß in Schritt VI die Schaltungsstrukturen in die obere Oberfläche der Membranschicht implantiert werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Ätzschritt II zur Bildung der porösen Siliziumschicht (2) durchgeführt wird.

- ziumschicht (2) einen elektrochemischen Anodisierungsprozeß in Flußsäureelektrolyt aufweist.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Abscheideschritt IV einen Niedertemperatur-LPCVD- oder -PECVD-Prozeß aufweist. 5
4. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die dünne Siliziumcarbid- oder -nitridmembranschicht (4) in Schritt IV durch reaktives Sputtern abgeschieden wird.
5. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Öffnungen (5, 7) in der Siliziumcarbid- oder -nitridmembranschicht in Schritt V durch einen Trockenätzprozeß gebildet werden. 10
6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß der Trockenätzprozeß im Schritt V durch Plasmaätzung erfolgt. 15
7. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die im Schritt VI ausgebildeten Schaltungsstrukturen (6) Leiterbahnen 20 aus Aluminium enthalten.
8. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die im Schritt VI ausgebildeten Schaltungsstrukturen (6) Halbleiterelemente enthalten. 25
9. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Opferschichtätzung in Schritt VII z. B. mit Ammoniak, KOH oder Tetramethylanmoniumhydroxid ausgeführt wird.
10. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß ein zusätzlicher Schritt eine dünne ganzflächige Schutzschicht (9) auf der oberen Oberfläche der Membran (4) aufbringt. 30
11. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß die dünne ganzflächige Schutzschicht (9) 35 auf der oberen Oberfläche der Membran Siliziumcarbid oder Siliziumnitrid aufweist.
12. Thermischer Membransensor, hergestellt mit dem Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche.
13. Thermischer Membransensor nach Anspruch 12, 40 dadurch gekennzeichnet, daß die in der oberen Oberfläche der Membran implantierten Schaltungsstrukturen eine Thermosäule aus zwei verschiedenen Stoffen mit großen Seebeck-Effekt aufweisen.
14. Thermischer Membransensor nach Anspruch 12, 45 dadurch gekennzeichnet, daß er als Strahlungssensor ausgebildet ist und eine zusätzliche, über der dünnen ganzflächigen Schutzschicht (9) ausgebildete Absorberschicht aufweist.
15. Thermischer Membransensor nach Anspruch 14, 50 dadurch gekennzeichnet, daß die zusätzliche Absorberschicht z. B. aus schwarzem Gold oder schwarzem Silizium besteht.

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

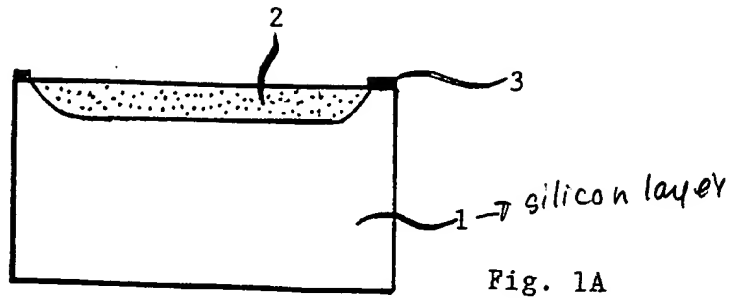
55

60

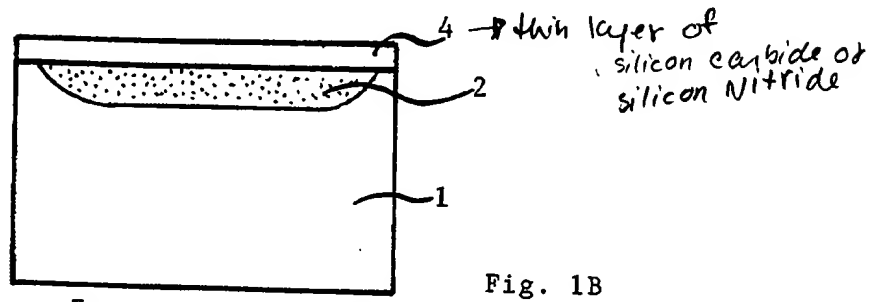
65

- Leerseite -

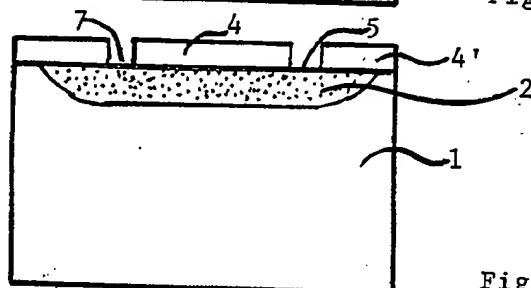
I + II



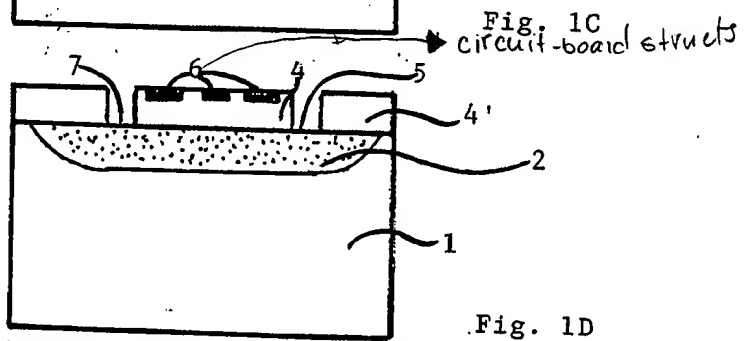
III + IV



V



VI



VII

